

NASSIMA HAMIDOUCHE[*]

Modélisation par les modèles ECM de la demande de pétrole dans la zone OCDE-Europe

Introduction

Le pétrole est une matière première d'une importance considérable, tant par sa fonction énergétique dans un grand nombre d'activités ou d'input dans les secteurs industriels (exemple de l'industrie de la pétrochimie), que par les montants qu'il représente dans le commerce international. Le prix du pétrole est l'un des prix importants de l'économie, ce qui explique que l'on s'en préoccupe. Il sert de prix directeur pour les autres sources d'énergies. Il joue un rôle de premier plan dans le cycle économique.

Depuis plus de vingt ans, la question pétrolière a suscité de nombreux travaux de la part des praticiens et des économistes. La théorie économique s'en est emparée, l'expérience troublée de ces dernières décennies a fourni une ample matière à toutes sortes de spéculations. On a mesuré certes plus que jamais, combien le pétrole était un enjeu stratégique et on a découvert que c'était une matière première pas comme les autres, régie par les forces du marché, de l'offre et de la demande et sujette aux interventions du politique. Au temps du pétrole à bas prix, des ententes ou rivalités épisodiques des principales compagnies, les pays consommateurs ont vécu dans une quiétude qui n'incitait guère à s'interroger sur leur besoin en approvisionnement à savoir sur leur demande de consommation de pétrole. A partir des années 70, tout a été bouleversé, on a pris conscience que le pétrole était une ressource rare «non renouvelable»; les chocs pétroliers de 1973 et 1979 ont consacré la prépondérance des Etats producteurs et du cartel de l'OPEP, sous le signe d'une forte hausse des prix. Après l'affaiblissement du cartel, le marché a imposé sa loi et fait chuter les prix au milieu des années 80. A ce choc a succédé un contre choc début des années 90 avec la crise du Golfe, ainsi est apparu le cycle du pétrole. Ce rythme cyclique que tend à prendre l'économie pétrolière présente d'incontestables dangers sur le niveau d'approvisionnement des pays consommateurs. Ceci explique le souci de rechercher des aménagements entre pays producteurs et pays consommateurs, qui permettraient de régulariser l'économie pétrolière: éviter à court terme les fluctuations désordonnées des prix, adapter les prix à long terme en fonction de la demande et du niveau de production.

L'Europe est le deuxième marché pétrolier mondial après les Etats-Unis, et constitue pour l'Algérie le principal importateur. L'Algérie, il est

opportun de le rappeler, possède une économie qui demeure largement dépendante des recettes d'exportation provenant de la vente du pétrole, des produits raffinés et du gaz. Il serait intéressant pour nous de pouvoir établir le modèle le plus approprié, nous permettant d'évaluer la demande globale des pays de l'Europe de l'OCDE considérés comme les principaux clients de l'Algérie.

La modélisation économétrique de la demande d'énergie est l'une des bases de l'économie de l'énergie et le modèle autoregressif était considéré jusqu'à une certaine période comme le modèle économétrique typique[1], en d'autres termes la demande d'énergie était expliquée par elle-même retardée d'une période, par le prix et le revenu. La pertinence de ce type de modèles provient des mécanismes d'ajustement courants et aboutissent souvent à des résultats satisfaisants (R^2 élevé, estimateurs significatifs). En général, dans la littérature, les variables de ces modèles sont implicitement supposées stationnaires[1] (des prix stables, ...) ou stationnaires autour d'une tendance linéaire. Cependant, des recherches récentes ont prouvé par contre que les variables qui interviennent dans la demande d'énergie n'étaient pas stationnaires, compte tenu des instabilités macro-économiques notamment sur le marché pétrolier (choc pétrolier de 1986, la crise du Golfe en 1990, la guerre en Irak en 2003...). Ainsi, ces variables dans leurs représentations autorégressives admettent des racines unitaires et donc les modèles classiques ne sont plus valables et la modélisation par un modèle à correction d'erreur (ECM[2]) devient inévitable.

Nous proposons dans ce travail de faire une présentation des résultats obtenus après application du modèle ECM à la demande de pétrole dans la zone des pays de l'OCDE-Europe considérés comme les principaux clients de l'Algérie (voir Annexe I); pour cela nous procédons comme suit:

Nous ferons une description succincte de l'état actuel du marché pétrolier, à savoir le contexte actuel concernant les modes de commercialisation du pétrole, les caractéristiques d'un marché pétrolier qui se distinguent entre le court terme et le long terme, ensuite nous nous focalisons sur la politique énergétique élaborée par la zone qui nous intéresse à savoir les pays de l'OCDE. Cette étape est indispensable, car elle nous permet de mieux justifier notre choix pour le modèle ECM que nous avons jugé le plus représentatif pour la modélisation de la demande. Nous survolerons ensuite les principaux traits de la théorie de la cointégration et des modèles ECM. Enfin, nous ferons appel à ces techniques pour estimer la demande globale de pétrole dans l'ensemble des pays de l'OCDE d'Europe, afin de mettre en évidence: d'un côté, la sensibilité des modèles énergétiques à la modélisation ECM et d'un autre côté, la rigueur dans l'interprétation des résultats qui diffère entre le court terme et le long terme.

1. Modes de commercialisation du pétrole

Nous présentons ci dessous les principales modalités de commercialisation du brut.

1.1. Le marché spot

La notion de marché spot ou marché au comptant n'est pas nécessairement évidente à définir, si ce n'est par négation: ce n'est pas un contrat à terme, ce n'est pas un accord de gouvernement à gouvernement... Une transaction spot est un échange simultané ou presque, d'argent et de marchandise (pétrole et produits raffinés) à un prix fixé au moment de la transaction et ne faisant pas l'objet de contrats de livraison de long terme. Il s'agit d'une transaction libre (i.e. accessible à tous et le contrôle échappe à tous) et aléatoire c'est à dire imprévisible tant dans sa quantité, dans son prix et dans le moment de sa réalisation.

La taille du marché spot s'est considérablement agrandie depuis 1979, après le 2^{ème} choc pétrolier; antérieurement, les transactions pétrolières de brut s'effectuaient pour l'essentiel dans un cadre contractuel (sur la base de contrats à long terme à prix stables passés entre les compagnies nationales des pays producteurs d'une part et les Etats consommateurs d'autre part) appelé système OPEP. Depuis le début des années 80, une partie importante des transactions pétrolières tant de brut que des produits raffinés, va s'effectuer sur le marché spot. L'attrait du marché spot s'explique aisément : lorsque le marché est déficitaire, les prix établis sur le marché spot -appelés prix spot - s'élèvent au-dessus du prix officiel et par conséquent, certains producteurs accèdent à ce marché qu'ils considèrent comme un marché parallèle à prix fort.

1.2. Le marché à terme

En raison de l'existence d'un décalage nécessaire entre la production de brut et sa livraison à la raffinerie, ainsi qu'entre le prix du produit de base et de ses distillants, les intervenants sur le marché pétrolier se sont toujours intéressés au marché des livraisons différées (forward market), sur lequel s'échangent des cargaisons de pétrole et de produits à une date ultérieure et pour un prix immédiatement fixé. Ces contrats à enlèvement non immédiat présentent l'inconvénient majeur de manquer de flexibilité, étant donné qu'il est en fait quasiment impossible de remplacer, l'une ou l'autre des parties au contrat, et qu'ils portent sur des quantités non homogènes et ne peuvent donc pas être aisément revendues à un tiers. Par ailleurs, ces opérations doivent nécessairement déboucher sur des livraisons de produits. Du fait de cette absence de souplesse, un nouveau marché a été établi, il s'agit du marché à terme.

Le marché à terme de produits pétroliers est un marché financier qui constitue un complément mais non un substitut au marché du physique, d'ailleurs les livraisons physiques sont négligeables par rapport aux transactions réalisées. Ces transactions portent essentiellement sur des titres financiers «Les barils papier». Le contrat à terme est une promesse de vente, par laquelle le vendeur s'engage à livrer la

marchandise (pétrole brut ou produit pétrolier) à une date donnée, l'acheteur est tenu de la recevoir et de la payer au prix fixé lors de la signature du contrat.

C'est en 1978 que les premiers contrats pétroliers à terme ont été passés sur le marché de New York. Le premier succès a été réalisé par West Texas Internationale (WTI) en 1983 qui traitait le pétrole brut.

Quatre fonctions principales sont attribuées aux marchés à terme : la protection contre les risques d'instabilité des prix, l'amélioration de la gestion des stocks, la régulation des échanges de produits physiques et l'amélioration de la diffusion des informations sur le marché.

1.3. Les contrats netback (ou de valorisation)

Face à la baisse de leurs parts de marché, les producteurs de l'OPEP ont dû concevoir des modalités de commercialisation attrayantes pour leur brut. L'une des premières tentatives a été constituée par les contrats dits de «netback» (ou de valorisation). Dans ce type de contrat, le prix de vente du brut est calculé en fonction de plusieurs éléments, nous citons quelques-uns :

1. Le prix spot des produits finis selon les zones géographiques où ils sont commercialisés.
2. Les rendements du brut en différents produits compte tenu de l'outil de raffinage et de la qualité du brut traité.
3. Coût marginal du raffinage.
4. Le prix spot du fret maritime.

L'intérêt de ce type de contrat est qu'il assure à l'acheteur raffineur la rentabilité de son acquisition, alors que tous les risques de fluctuation de prix sont supportés par le vendeur.

2. L'équilibre du marché pétrolier

Les analyses et les commentaires sur les marchés internationaux de matières premières et notamment du pétrole souffrent le plus souvent d'ambiguïté et de flou. Les rubriques d'analyse Conjoncturelle des marchés mettent généralement sur un pied d'égalité des facteurs de nature et de portée très divers (niveau des stocks, information concernant la production et la consommation, phénomènes spéculatifs...). Il en résulte une vision plutôt confuse de l'évolution des prix qui semble ressortir d'avantage de l'aléatoire que de mécanismes économiques clairs. L'ambiguïté des analyses est illustrée par les expressions «Offre» et «Demande» qui désignent la production et la consommation et parfois les interventions des opérateurs sur un marché ou par le mythe excessif d'une «fixation» des prix par la spéculation. Les notions de stabilité et d'instabilité des marchés pétroliers sont souvent utilisées de façon imprécise. La distinction entre court, moyen et long terme se réfère généralement à des critères calendaires arbitraires ou non précis. De ce fait, une compréhension des mécanismes du marché et de l'évolution du prix du pétrole nécessite une démarche à la fois

prudente et rigoureuse qui distingue, en particulier, les phénomènes selon certains horizons temporels fondamentaux.

2.1. La distinction entre phénomènes de marché à court terme et à moyen terme

On est conduit à distinguer les évolutions à «court terme» et à «moyen terme» du prix selon les critères suivants :

- Le court terme est un horizon temporel trop court pour que les variations du rapport entre production et consommation du produit puissent s’y manifester objectivement, il correspond à des fluctuations de faible durée, de quelques jours à quelques semaines ou quelques mois. Ces fluctuations constituent l’impact des phénomènes boursiers.
- L’autre dimension temporelle et qui est le moyen terme est liée aux mécanismes d’ajustement entre production, consommation et les prix. Il correspond à des fluctuations allant de plusieurs mois à quelques années.

A court terme, une grande partie des opérations sur le marché à terme est guidée par des anticipations. Ces dernières selon leurs natures peuvent être stabilisantes ou déstabilisantes du marché. Le fonctionnement d’un marché boursier est tel que le cours quotidien doit s’établir au niveau qui équilibre offre et demande en fin de séance. Cependant, lorsqu’un processus cumulatif de variations de cours se développe, le cours d’équilibre d’un jour correspond à un déséquilibre du lendemain, à savoir, la variation de cours qui a conduit à l’équilibre le premier jour engendre des phénomènes d’anticipations tels que le rééquilibre du marché le lendemain exige une nouvelle variation de cours..... En effet, l’impact de la spéculation sur une fluctuation du cours dépend du mode de formation des anticipations : Si celles-ci tendent à prolonger la variation la plus récente du cours, elles amplifient les fluctuations et sont déstabilisantes, si elles se réfèrent à une trajectoire normale et prévoient un retour du cours vers celle-ci lorsqu’il s’en écarte, elles sont stabilisantes. Cependant, ce qui nous intéresse n’est pas de conclure au caractère stabilisateur ou non des marchés à terme mais plutôt de faire la différence par rapport à une autre dimension qui est le moyen et le long terme et pour ça, il faut sortir du cadre des marchés et des mécanismes boursiers pour analyser les décisions de production et d’utilisation du pétrole.

2.2. Dynamique à moyen-long terme des prix et délais de réaction

L’évolution du rapport entre production et consommation du pétrole ne peut généralement être appréhendée que sur une période assez longue, de plusieurs mois au moins. En effet, la production d’un mois donné ne sera généralement consommée que plusieurs mois plus tard, après avoir transité par une succession de phases de stockage, de transport et de transformation. Par conséquent, les flux de production et de consommation ne peuvent être comparés que sous un horizon temporel assez long pour que la transmission des quantités produites aux utilisateurs finaux fasse apparaître la mesure dans laquelle la production permet de satisfaire la consommation.

Par ailleurs, un examen des chroniques de cours et de la conjoncture sur plusieurs décennies fait généralement apparaître un enchaînement de phases alternées d'excédents et de déficit en pétrole qui se reflètent sous forme de «vagues» pluriannuelles du prix. Ceci s'explique par l'intervention d'un mécanisme spécifique de moyen terme et qui concernerait directement la production et la consommation du produit. En effet, les fluctuations à moyen terme du prix du pétrole résultent le plus souvent de deux catégories de facteurs :

- L'impact de perturbation de grande ampleur.
- Un mécanisme cyclique d'ajustement entre production, consommation et prix.

Ce dernier résulte de la combinaison de plusieurs mécanismes:

- La production réagit avec retard, progressivement et même de façon excessive à l'évolution du prix à moyen terme, ce qui s'explique par les délais de mise en place ou l'abondance des capacités de production.
- La consommation est influencée par l'évolution du rythme de l'activité économique et de la même manière que la production, réagit avec retard aux variations des prix en raison des délais d'adaptation des techniques ou des modèles de consommation.

L'interaction entre consommation, production et prix débouche alors sur le schéma suivant : Si la consommation enregistre une poussée forte et soutenue, les producteurs peuvent d'abord y répondre par une intensification des capacités existantes sans oublier les nouveaux concurrents. Mais lorsque celle-ci est saturée, le prix continue à monter et les producteurs sont incités à se lancer dans une extension de leurs capacités de production et ils se laissent prendre au piège des anticipations haussières. Finalement, cette course aux investissements débouche quelques années plus tard sur une surproduction et donc une chute des prix. Cette chute des prix ne risque pas de remonter très vite d'autant plus que la hausse - connue juste avant - aurait suscité de côté de la demande, des efforts de substitutions au détriment de la consommation du pétrole.

Plusieurs années peuvent s'écouler avant que l'insuffisance des investissements de remplacement et la reprise de la consommation encouragée par la faiblesse du prix réduisent les excédents de capacités, résorbent les stocks et provoquent une remontée des prix. Les ressorts internes du processus relancent alors le cycle.

3. La stratégie énergétique dans les pays de l'OCDE

Le rôle du pétrole dans la vie des Etats contemporains impose de soulever la question des rapports entre les acteurs des jeux pétroliers et les gouvernements. La question est d'autant plus importante que les Etats sont devenus directement ou indirectement, des actionnaires majoritaires dans les entreprises pétrolières. La majorité des pays de l'OCDE ont des politiques pétrolières qui ne sont pas laissées à la libre appréciation de leurs différentes sociétés pétrolières, aussi importantes soient-elles.

Nous retiendrons que pour ces pays, l'Etat impose aux sociétés sa politique de différentes façons. En retour, il met à la disposition de ces dernières la puissance de l'appareil étatique, et ceci, chaque fois qu'elles rencontrent des difficultés dans la mise en œuvre de la politique énergétique tracée par leurs Etats.

Jusqu'en 1950, la consommation énergétique de l'Europe occidentale est aux trois quarts basée sur le charbon communautaire. A partir des années 50, le développement économique très soutenu a fait de plus en plus appel au pétrole et au gaz naturel. Vers la fin des années 70, l'avènement du nucléaire est venu concurrencer les sources fossiles pour la production d'électricité.

Les pays de l'OCDE ont développé différentes politiques de l'énergie, basées sur les spécificités propres et sur la nécessité d'un développement de leur économie, moins énergivore. Le poids de l'énergie dans l'économie peut-être appréhendé à travers plusieurs critères, dont les principaux sont l'emploi (en France par exemple, le secteur énergétique emploie plus de 260 000 personnes en 1985: source Revue de l'AIE), la valeur ajoutée, l'investissement et le commerce extérieur. L'évolution à la hausse ou à la baisse des prix du pétrole, et par contre-coup les prix des autres sources d'énergie, exerce des effets macro-économiques multiples tant sur le plan de l'équilibre interne que sur celui de l'équilibre externe. Il existe entre la consommation primaire d'énergie et la production de biens de service d'un pays une interdépendance liée à différents facteurs d'ordres technologique et économique.

Face aux défis énergétiques, les pays de l'OCDE ont développé deux types de stratégies :

- La stratégie défensive, qui consiste à limiter la dépendance énergétique de différentes façons. Soit en s'appuyant sur une politique volontariste de l'offre nationale, c'est le cas de la France avec le nucléaire, et à un degré moindre, le Royaume-Uni, ou encore à agir au niveau international de différentes façons pour maintenir les prix au plus bas, ce qui permet évidemment d'alléger la facture pétrolière et de diminuer le déficit budgétaire, comme le font les Etats-Unis qui ont imposé cette doctrine.

- L'autre stratégie, dite offensive, adoptée entre autres par l'Allemagne, l'Italie, consiste à «faire avec», ils font 'confiance' aux mécanismes du marché et prennent acte de leur dépendance accrue en énergie sans essayer nécessairement de la diminuer. Ils s'efforcent, par contre, de compenser cette facture par des exportations croissantes de produits manufacturés.

Quelle que soit la politique énergétique mise en œuvre, que les pays puissent compenser leur handicap énergétique par une limitation des besoins ou par un développement industriel accru, l'indépendance énergétique face aux besoins croissants ne peut être atteinte, et le problème de la disponibilité voire de la rareté des énergies non renouvelables – notamment le pétrole brut – ne peut être écarté, même

l'énergie nucléaire qui est un substitut du pétrole demeure une énergie dangereuse. La seule voie possible c'est de pouvoir produire des biens manufacturés pour payer le pétrole à un prix juste, qui assure un approvisionnement calme et serein d'une demande difficile à évaluer compte tenu des chocs exogènes à laquelle elle est sujette.

Avant de passer à la présentation des résultats de la modélisation par les modèles ECM de la demande globale de pétrole des pays de l'OCDE d'Europe, nous allons d'abord passer en revue les principaux traits concernant la théorie de la cointégration et les modèles ECM.

4. Théorie de la cointégration et modèles ECM [3]

Les chroniques économiques sont rarement des réalisations de processus aléatoires stationnaires (les chocs pétroliers et la récession mondiale...). Elles possèdent souvent des tendances. La présence d'une tendance stochastique exprimée en terme de racine unitaire fait appel à une approche classique de stationnarisation qui possède des limites. En effet, l'opération de différenciation ne décrit que les mouvements de court terme et ignore les propriétés de long terme des séries temporelles. C'est ainsi que Hendry avait introduit le concept de cointégration qui signifie que plusieurs séries temporelles possédant une tendance stochastique peuvent avoir des mouvements conjoints qui vérifient une relation stable à long terme qui est la relation de cointégration. Définir une relation de cointégration permet de rationaliser la modélisation dynamique à court terme et à long terme que Hendry a appelé les modèles à correction d'erreur ECM.

4.1. Théorème de représentation de GRANGER (1987)

Le théorème de représentation d'ENGLE et GRANGER montre qu'un modèle avec vecteurs cointégrés admet la représentation de type modèle à correction d'erreur suivante:

Il existe une représentation ARMA vectorielle de $X_t = (x_{1t} \dots \dots x_{kt})$ dont toutes les composantes (variables) sont intégrées d'ordre 1 (ie deviennent stationnaires après une 1^{ère} différenciation) :

$$x_{1t} \dots \dots x_{kt} \sim I(1)$$

$$A(L)\Delta X_t = \alpha\beta'X_{t-1} + d(L)\varepsilon_t$$

$$\text{avec } \begin{cases} d(L) : \text{polynôme scalaire} \\ A(L) : \text{polynôme matriciel} \end{cases}$$

$\alpha : (k \times r)$ contient les paramètres de correction d'erreur ou les coefficients d'ajustement, qui mesurent la vitesse avec laquelle les variables s'ajustent en réponse aux déviations par rapport au niveau d'équilibre de long terme.

$\beta (k \times r)$: Matrice de cointégration.

r : est le nombre de relations de cointégration.

$$\beta'X_{t-1} \sim I(0)$$

En posant $Z_{t-1} = \beta'X_{t-1}$ et en supposant le degré de $d(L)$

suffisamment grand pour qu'il n'y ait pas de structure moyenne

mobile, on se ramène alors au cas où $d(L) = 1$ et on obtiendrait alors la structure VAR suivante :

$$A(L)\Delta X_t = \alpha\beta'X_{t-1} + \varepsilon_t \quad (1)$$

$$A(L)\Delta X_t = \alpha Z_{t-1} + \varepsilon_t$$

Z_{t-1} est un vecteur ($r \times 1$)

Le système (1) qui est une représentation ECM met en évidence les relations de cointégration du modèle. Il présente l'avantage d'avoir toutes les variables stationnaires, ce qui nous permet de passer à l'étape de l'estimation des paramètres et l'inférence statistique.

4.2. L'estimation par la méthode des deux étapes

ENGLE et GRANGER (1987) ont proposé une procédure d'estimation en deux étapes des coefficients intervenant dans une équation d'une représentation à correction d'erreur du système (1). En supposant que toutes les variables sont $I(1)$, et qu'il existe une seule relation de cointégration ($r = 1$).

$$A(L)\Delta X_t = \alpha\beta'X_{t-1} + \varepsilon_t$$

Après une normalisation par rapport au 1^{er} élément de β

$$I \beta'X_{t-1} \Leftrightarrow x_{1t-1} = \beta_1 + \beta_2 x_{2t-1} + \dots + \beta_k x_{kt-1}$$

Cette méthode sépare l'estimation en deux étapes :

1^{ère} étape : On estime les coefficients de la relation de long terme à savoir l'estimation du vecteur de cointégration : le vecteur b . L'estimation se fait par la méthode des MCO appliquée à la relation suivante :

$$x_{1t-1} = \beta_1 + \beta_2 x_{2t-1} + \dots + \beta_k x_{kt-1} + z_{t-1} \dots \dots \dots \text{appelée régression de cointégration.}$$

2^{ème} étape : Après avoir remplacé b par sa valeur estimée dans la 1^{ère} étape, on estime les coefficients de la relation de court terme qui consiste dans l'estimation des éléments de la matrice $A(L)$ et le vecteur a , on parle alors de l'estimation de l'ECM.

Dans le but de confirmer la validité de la spécification adaptée sur le long terme à savoir l'hypothèse de cointégration, on pourra vérifier la stationnarité de la perturbation z_t .

Si l'hypothèse d'une racine unitaire est rejetée pour les résidus, nous allons donc conclure que ces variables $I(1)$ (non stationnaires) sont cointégrées. Si par contre, l'hypothèse de l'existence de la racine unitaire n'est pas rejetée, alors il n'y a pas de relation de long terme entre les variables et donc le modèle ECM n'est pas validé. L'absence de relation de cointégration peut être due au fait que les variables ne soient pas réellement liées à long terme, elles ont uniquement des tendances communes comme le cas de *la régression fallacieuse* [4]. Dans certains cas l'ajout d'une ou plusieurs variables non-stationnaires manquantes dans la relation établie nous permet d'établir une relation

de cointégration. Ceci n'est pas valable si les variables qui manquent sont stationnaires.

La méthode des deux étapes est très utilisée compte tenu de la simplicité de son application, toutefois, elle possède quelques limites notamment dans le cas où il y a plus de deux variables dans la régression. En effet, quand nous avons plus de deux variables dans la régression, il peut y avoir plus d'un vecteur de cointégration, mais la technique des deux étapes estime seulement un seul d'entre eux (par hypothèse $r=1$). De ce fait, les estimateurs ne sont plus consistants. Ce problème d'identification implique qu'on devrait être très prudent dans l'interprétation du vecteur de cointégration estimé par la méthode des deux étapes dans les régressions ayant plus de deux variables, à moins qu'a priori, on sait qu'il existe un vecteur de cointégration unique. Par conséquent, la méthode des deux étapes, quand on a plus d'un vecteur de cointégration, n'est plus valide, on fait alors appel à une représentation VECM (vectoriel error correction models) qu'on estime par la méthode du Maximum de Vraisemblance de JOHANSEN.

4.3. L'estimation par la méthode du Maximum de Vraisemblance de Johansen (1990)[5]

L'approche Multivariée du maximum de vraisemblance développée par Johansen (1988, 1991) a moins d'inconvénients que la méthode des deux étapes. En effet, la méthode de Johansen procède en testant le rang de Cointégration i.e. le nombre de vecteurs cointégrant, ensuite estime ces vecteurs ainsi que les paramètres de la relation dynamique.

Soit le vecteur X_t contenant p variables toutes $I(1)$ avec T observations chacune. La méthode de Johansen est basée sur l'estimation, par le maximum de vraisemblance, du modèle vectoriel autorégressif d'ordre k , VAR(k) avec des erreurs gaussiennes :

$$H_1 : X_t = \Pi_1 X_{t-1} + \dots + \Pi_k X_{t-k} + \varepsilon_t$$

$$t = 1, \dots, T$$

$$\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_T \sim \text{IIN}(0, \Lambda)$$

Les matrices Π_i sont d'ordre (p, p) et contiennent les paramètres du Modèle VAR. Dans ce modèle, chaque variable est exprimée par ses k valeurs retardées et toutes les autres variables. De ce fait, toutes les variables sont considérées comme endogènes. Les paramètres non contraints $(\Pi_1, \dots, \Pi_k, \Lambda)$ sont estimés à la base des T observations du processus autorégressif. Sachant que les variables économiques sont généralement des processus non stationnaires alors le système VAR est exprimé en fonction des variables en différences premières, pour qu'il n'y ait pas de perte d'informations, il est préférable de réécrire le modèle précédent comme suit :

$$\Delta X_t = \Gamma_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta X_{t-k+1} + \Pi X_{t-k} + \varepsilon \quad \dots \dots (2)$$

$\Gamma_1, \dots, \Gamma_{k-1}, \Pi$ sont toutes des matrices carrées $(p \times p)$

avec $\Gamma_i = -(I - \Pi_1 - \dots - \Pi_i)$ $i = 1, \dots, k-1$

$\Pi = -(I - \Pi_1 - \dots - \Pi_k)$

Le modèle (2) représente l'écriture d'un modèle VAR en différences premières (stationnaires) à l'exception du terme ΠX_{t-k} qui

n'est pas stationnaire. Le but principal de cette approche est justement de tester est ce que la matrice Π contient des informations qui font que ΠX_{t-k} soit stationnaire en d'autres termes tester l'existence de relations de cointégration entre les variables X_t afin que le modèle (2) soit bien défini en tant que VECM.

La nature de Π et particulièrement le rang de Π nous renseigne sur le nombre de relations de cointégration :

Si : $0 < \text{Rang}(\Pi) = r < p$, i.e. que Π a un rang réduit plus grand que zéro ceci implique qu'il y a r relations de cointégration et qu'on peut décomposer Π en un produit de deux matrices non uniques a et b de dimension (p, r) et de plein rang colonne.

Dans ce cas, le vecteur de cointégration fait que $\beta' X_t$ est stationnaire (bien que les X_t ne le soient pas), la relation (2) peut être définie comme un VECM.

Sachant que ΔX_t est stationnaire et sous l'hypothèse :

$$H_2 : \Pi = \alpha\beta'$$

Le VECM est défini ainsi :

$$\Delta X_t = \Gamma_1 \Delta X_{t-1} + \dots + \Gamma_{k-1} \Delta X_{t-k+1} + \alpha\beta' X_{t-k} + \varepsilon_t$$

Johansen propose d'utiliser la méthode du maximum de vraisemblance.

La Log vraisemblance s'écrit :

$$\log L(\alpha, \beta, \Gamma_1, \dots, \Gamma_{k-1}, \Lambda) = -\frac{pT}{2} \log(2\pi) - \frac{T}{2} \log |\Lambda| - \frac{1}{2} \sum_{t=1}^T \varepsilon_t' \Lambda^{-1} \varepsilon_t$$

Les procédures d'estimation des paramètres de cette fonction ainsi que les tests effectués sont décrits dans l'article de JOHANSEN 1990.

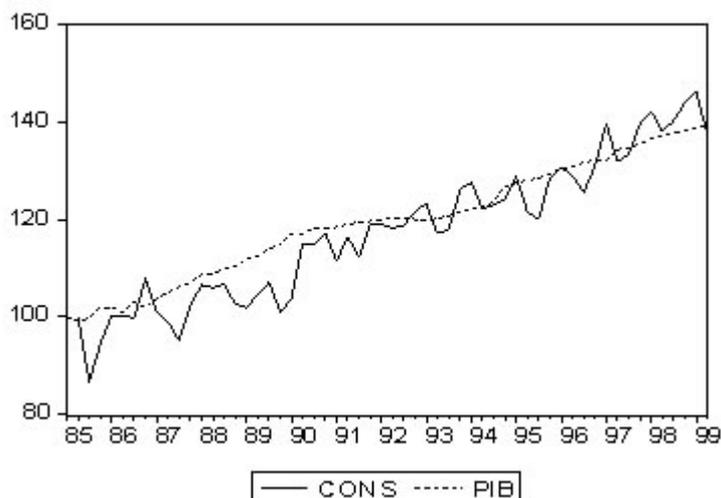
5. Modélisation de la demande de pétrole des pays de la zone OCDE-Europe par les modèles ECM

Nous allons enfin présenter les résultats de l'application empirique des modèles cités supra pour estimer la demande totale de pétrole dans la zone OCDE-Europe $CONS_t$ expliquée par le prix du pétrole $PRIX_t$ et le PIB global de l'ensemble des pays appartenant à cette zone PIB_t (à prix constant).

Avant toute recherche d'une équation et avant toute analyse statistique des séries de variables disponibles, il est utile de revenir à une analyse graphique. Nous disposons de données trimestrielles allant du premier trimestre de l'année 1985 au deuxième trimestre de l'année 1999. Nous n'avons pas tenu compte de la variable *Climat* en tant que variable explicative car il s'agit d'une zone qui regroupe un ensemble de pays dont la température n'est pas forcément la même. Par ailleurs l'effet saisonnier n'est pas distingué dans l'évolution dans le temps de la demande.

La première liaison à considérer est celle de la demande de pétrole et le PIB.

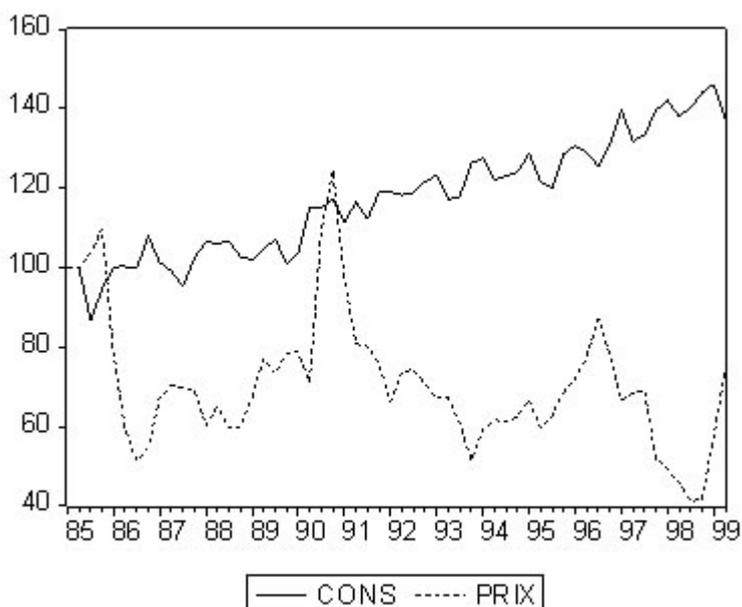
5.1. Évolution du PIB et de la demande du brut



La demande du brut et le PIB évoluent dans le même sens avec une tendance commune. Il est clair que la consommation de pétrole ne peut décroître et son taux d'évolution positif ne peut être réduit compte tenu du développement de l'activité économique.

Le rapport historique entre le taux de croissance économique global et le taux de croissance pétrolière, qui était de 1 avant 1973, semble avoir évolué négativement, il est de l'ordre de 0.7 à 0.8 (selon les pays), de telle sorte que pour un taux de croissance économique de 3 % doit répondre une augmentation de la consommation pétrolière de 2.1 à 2.4 % annuellement (source : Revue de l'AIE), la baisse de ce rapport appelé l'intensité énergétique – consommation par unité de PIB - est due aux différentes mesures d'économie d'énergie.

5.2. Évolution du prix et de la demande du brut



Depuis le choc pétrolier de 1986, le prix du pétrole continue à fluctuer assez fortement; alors qu'il atteignait presque 25 dollars le baril au début de l'année 1997, il est tombé au-dessous de 11 dollars le baril au début de l'année 1999 et depuis il a fortement rebondi pour s'établir aux alentours de 22 dollars le baril à la fin du mois d'Octobre de la même année. Pour 1999 dans son ensemble, le prix s'est établi en moyenne à 17.5 dollars le baril, soit 37 % de plus qu'en 1998. Les raisons de la hausse récente des cours sont doubles. La plus importante est que la production de pétrole a été réduite à la suite des accords entre les producteurs de l'OPEP et certains autres pays producteurs en vue de limiter l'offre et d'assurer une hausse durable des prix.

Après une analyse graphique des variables qui logiquement influent sur la demande de pétrole, il s'agit maintenant de voir comment elle peut être précisée par une analyse économétrique laquelle tiendra compte à la fois du caractère instable de l'environnement pétrolier et la nécessité de la distinction entre les horizons temporels.

Pour appliquer les modèles ECM, nous allons commencer par effectuer les tests de racines unitaires sur nos variables d'intérêt pour connaître leurs degrés d'intégration et de voir s'il peut exister éventuellement des relations de cointégration entre elles. Si c'est le cas, nous établirons un modèle à correction d'erreur que nous estimerons d'abord par la méthode des deux étapes ensuite par la méthode du maximum de Vraisemblance de Johansen et enfin nous ferons une présentation des résultats des tests de causalités au sens de Granger à court terme et à long terme.

5.3. Tests de racines unitaires de Dickey Fuller^[6]

Nous appliquons ce test sur nos trois variables d'intérêt pib_t , $cons_t$, $prix_t$ et toutes les trois sont non stationnaires en niveau et ne deviennent stationnaires qu'après une première différenciation autrement dit $cons_t \sim I(1)$, $pib_t \sim I(1)$ et $prix_t \sim I(1)$ (voir Annexe II).

Du fait que les trois variables sont intégrées du même ordre $I(1)$, on peut chercher d'éventuelles relations de cointégration et l'estimation de l'ECM.

5.4. Estimation de l'ECM par la méthode des deux étapes

- L'estimation de la relation de long terme :

$$z_{t-1} = cons_{t-1} + \underset{(0.029)}{0.13} prix_{t-1} - \underset{(0.017)}{1.06} pib_{t-1}$$

- L'estimation de l'ECM nous donne :

$$\Delta cons_t = \underset{(0.506)}{-0.32} \Delta pib_t - \underset{(0.048)}{0.11} \Delta prix_t - \underset{(0.119)}{0.73} z_{t-1}$$

L'application du test de racine unitaire sur la variable z_t nous donne un $t_\phi = -5.32$ qui est inférieur aux valeurs théoriques \Rightarrow pas de racine unitaire, z_t est stationnaire \Rightarrow Il existe une relation de cointégration

entre les trois variables.

$$\Delta \text{cons}_t = \underbrace{-0.32}_{(0.506)} \Delta \text{pib}_t - \underbrace{0.11}_{(0.048)} \Delta \text{prix}_t - \underbrace{0.73}_{(0.119)} (\text{cons}_{t-1} + 0.13 \text{prix}_{t-1} - 1.06 \text{pib}_{t-1})$$

$$R^2 = 0.44 \quad \text{DW} = 1.61$$

Les coefficients, qui représentent les élasticités entre les variables, sont de signes cohérents aussi bien dans la relation de court terme que dans la relation de cointégration (ou la relation de long terme). Ils sont tous significatifs à l'exception de Δpib_t . Les élasticités de long terme sont plus importantes que celles du court terme notamment l'élasticité du PIB. En effet, à long terme, une croissance de 1 % du PIB engendre un effet direct sur la demande de consommation de pétrole qui augmentera de 1.06 %. La croissance et le développement économique dans les pays européens (comme ailleurs dans le monde) engendrent une augmentation conséquente des besoins en énergie et notamment en pétrole. Cependant, l'agent économique ne change pas instantanément son comportement dans la consommation des produits dérivés du pétrole, ce n'est qu'à long terme que la variation est remarquée.

On remarque par ailleurs, que la demande de pétrole est inélastique aux variations du prix à court terme. Il faut rappeler qu'une variation du prix du brut est très peu ressentie par le consommateur final qui utilise les dérivés du pétrole et dont les prix sont constitués en grande partie par les taxes. Par ailleurs, toute variation de prix du brut n'est ressentie par le consommateur qu'après le glissement d'une année, temps de transformation du pétrole en ses dérivés, sans oublier le temps qu'il prendra pour s'adapter à cette variation.

En résumé, on perçoit plus les réponses de long terme du système que ceux du court terme, ce qui caractérise d'ailleurs les modèles macro-économiques.

La relation de cointégration définit la tendance commune qui guide la demande de pétrole à long terme et puisque cette demande est principalement déterminée par le revenu (PIB) et le prix, on cherche la tendance commune entre les trois variables dont on suppose qu'elles s'alignent d'elles-mêmes sur un niveau d'équilibre à long terme à chaque fois qu'il y a une dérive ou une perturbation. Le modèle ECM est construit pour estimer aussi bien la déviation par rapport à l'équilibre de long terme, que les comportements de court terme qui permettent l'ajustement pour revenir à l'équilibre.

La demande de pétrole dans ce modèle est influencée aussi bien par la dynamique de court terme exprimée par les variables en différences Δprix_t et Δpib_t que par la déviation par rapport à l'équilibre (ou le terme d'erreur) de long terme exprimée en niveau z_{t-1} , si z_{t-1} est de signe négatif en $t-1$, dans la période qui suit i.e. en t , il sera de signe positif.

Le coefficient de z_{t-1} appelé le coefficient d'ajustement est de signe négatif (ce qui répond à l'une des caractéristiques des modèles ECM), ceci indique que la demande s'ajuste, ultérieurement dans le sens

opposé à la déviation qui s'est déroulée dans la période écoulee. Le coefficient du terme d'erreur, qui exprime la vitesse avec laquelle la demande retrouve son équilibre durant une période, est égal à -0.73 i.e. qu'à peu près $2/3$ de l'ajustement de la demande à son niveau d'équilibre s'effectue au court du premier trimestre, donc il faudrait presque un semestre pour que la demande de pétrole s'aligne sur un futur niveau d'équilibre.

5.5. Estimation du VECM par la méthode du Maximum de vraisemblance de Johansen

Dans un premier temps, nous avons défini le nombre de retards du modèle VAR que nous avons fixé à trois ($p = 3$) à l'aide des critères Akaike et Schwarz [7]. Nous déterminons actuellement le nombre de relations de cointégration qui peuvent exister entre les variables.

Tableau n°1: Test du rapport de vraisemblance de l'hypothèse de cointégration

Valeurs propres	λ_{trace}	Valeurs théoriques 5%	Valeurs théoriques 10%
0.356561	36.95114	29.68	35.65
0.223120	13.58195	15.41	20.04
0.003786	0.201041	3.76	6.65

$H_0: r = 0$

contre $H_1: r > 0$

$\lambda_{\text{trace}} = 36,95$ est supérieure aux valeurs théoriques à tous les seuils, on rejette l'hypothèse nulle d'absence de relations de cointégration.

$H_0: r = 1$

contre $H_1: r > 1$

$\lambda_{\text{trace}} = 13,58$ est inférieure aux valeurs théoriques à tous les seuils, on accepte l'hypothèse nulle d'existence d'une relation de cointégration.

En éliminant tous les coefficients non significatifs, l'estimation du VECM nous donne le modèle suivant :

• Le Modèle :

Les t-calculés figurent entre parenthèses.

$$\left\{ \begin{array}{l} \Delta CONS_t = -0.21 \Delta CONS_{t-1} - 0.53 \Delta CONS_{t-2} + 1.63 \Delta PIB_{t-3} + e_{1t} \\ \quad \quad \quad (-1.80) \quad \quad \quad (-4.33) \quad \quad \quad (2.85) \\ \Delta PRIX_t = 1.17 \Delta CONS_{t-1} + 0.18 \Delta PRIX_{t-3} - 1.23 Z_{t-1} + e_{2t} \\ \quad \quad \quad (5.46) \quad \quad \quad (1.82) \quad \quad \quad (-6.87) \\ \Delta PIB_t = 0.02 \Delta PRIX_{t-3} - 0.21 \Delta PIB_{t-1} + 0.92 - 0.04 Z_{t-1} + e_{3t} \\ \quad \quad \quad (2.86) \quad \quad \quad (-1.82) \quad \quad \quad (7.19) \quad \quad \quad (-3.12) \end{array} \right.$$

Nous allons effectuer les tests de causalité au sens de Granger en distinguant la causalité à court terme (Ct) et la causalité à long terme (Lt) entre les variables.

5.6. Tests de causalités au sens de Granger^[8]

Les résultats obtenus sont présentés dans le tableau récapitulatif suivant :

Causalité ↑ →	CONS	Prix	PIB
CONS	-	Ct: 29.87 Lt: -6.87	Lt: -3.12
Prix	Ct: - Lt: -	-	Ct: 19.90 Lt: -3.12
PIB	Ct: 9.63	Lt: -6.87	-

Nous concluons qu'il y a causalité entre les variables, dans au moins une direction. En outre aucune des variables dépendantes n'est exogène au système, puisque chacune d'elles est causée au moins par une autre variable.

Nous décelons un effet causal de la demande vers le prix à court terme ce qui montre que le prix du pétrole réagit très vite aux forces du marché contrairement à la réaction de la demande aux variations du prix.

Conclusion

Notre objectif dans ce travail était d'essayer d'estimer la demande de pétrole dans les pays européens de l'OCDE –principaux clients pour l'Algérie –à travers l'application des modèles ECM considérés comme l'approche la plus adéquate compte tenu des caractéristiques de nos variables d'intérêt – non stationnaires dans le temps – et du contexte actuel du marché du pétrole, à savoir la nécessité de distinguer les relations entre les variables entre le court terme et le long terme. Les modèles ECM mettent en évidence les mécanismes d'ajustement qui s'effectuent entre les variables en cas de choc ou de perturbation pour revenir à l'équilibre.

Après estimation du modèle, nous avons abouti à une seule relation de cointégration entre nos variables ie qu'il existe un mécanisme d'arbitrage entre la demande de pétrole, son prix et le PIB à long terme sur le marché pétrolier. Autrement dit, à chaque fois qu'il y a un déséquilibre sur le marché, des phénomènes d'adaptation s'effectuent pour l'établissement d'un nouvel équilibre à long terme. Si par exemple le prix du pétrole évolue positivement, la demande suit cette variation en baissant graduellement. Cette baisse de la demande d'une part va résorber les stocks et d'autre part à son tour va faire baisser le prix du pétrole ce qui fera remonter encore une fois le niveau de la demande pour répondre au besoin de consommation et de stockage. C'est ainsi qu'une nouvelle situation d'équilibre est définie à long terme.

L'interprétation économique des résultats reste relativement vague du fait que nous essayons de modéliser une demande agrégée du pétrole qui regroupe un ensemble de pays européens qui, malgré leur caractéristique commune d'être des pays importateurs, possèdent tout de même des politiques énergétiques différentes. En outre, le marché pétrolier reste un marché difficile à évaluer vu qu'il est influencé par plusieurs facteurs parfois non quantifiables tel que le politique.

Références bibliographiques

ANTOINE A. *Le pétrole, économie et politique*. Edition Economica 1996.

BEENSTOCK M. & E.GOLDIN. «The demand for electricity in Israel». *In Energy Economics*. N° 21 (1999) 168-183.

BENTZEN J. «An empirical analysis of gasoline demand in Denmark using cointegration techniques». *in Energy Economics*. N° 16 (1994) 48-56.

BLAZY R. «Mimétisme, erreurs d'anticipation de la demande et risque de défaillance des entreprises industrielles en France : un Modèle économétrique à correction d'erreur». *in Economie et prévision* N° 125 (1996).

BRESSON G. & PIROIT A. *Econométrie des séries temporelles*. 1^{ère} Edition PUF 1995.

BOURBONNAIS R. *Econométrie*. 2^{ème} Edition Dunod Paris 1998.

BOURBONNAIS R. & TERRAZA M. *Analyse des séries temporelles en économie*. 1^{ère} Edition PUF 1998.

CALABRE S. *Matières premières: Marchés Mondiaux – Déséquilibres – organisation* . Edition Economica 1995.

ENGLE R.F., & GRANGER C.W.J. «Cointegration and error correction: representation estimation and testing». *Econometrica* 55.2 (1987) 251-276 .

ENGSTED T. & BENTZEN J. «Common trends in energy consumption in nine OECD countries». *OPEC Review* 1996.

ENGSTED T. & BEBTZEN J. «Dynamic modelling of energy demand: a guided tour through the jungle of unit roots and cointegration ». *OPEC Review* December 1997.

GIL-ALANA L.A & ROBINSON P.M «Testing of unit root and other nonstationarity hypotheses in macroeconomic times series ». *Journal of econometrics* N° 80 (1997) 241-268.

GIRAUD A. & XAVIER BOY DE LA TOUR : *Géopolitique du pétrole et du gaz*. Edition Technips 1987.

GOURIEROUX CH., MONFORT A. *Séries temporelles et modèles dynamiques*. 2^{ème} Edition Economica 1995.

GOURIEROUX CH., MONFORT A. *Statistique et modèles économétriques*. 2^{ème} Edition Economica 1996.

HASHEM PESARAN M., YONGHEOL SHIN. «Cointegration and speed of convergence to equilibrium». *Journal of econometrics* N° 71 (1996) 117-143.

HING L., SHU K. «Modelling and forecasting the demand for coal in China». *Energy Economics*. N° 19 (1997) 271-287.

HORSNELL P., MABRO R. «Oil markets and prices (the brent market and formation of world oil prices)». *Oxford institute for energy studies* .Vol . XXI, N° 4 December 1997.

JACQUES J. F & PICAVET E. «Relations causales entre les dépenses militaires et leur environnement macro-économique: tests partiels pour la France et les Etats-Unis». *Economie et prévision* N° 112 (1994).

JACQUET P. & NICOLAS F. *Pétrole, crises, marchés, politique* 1^{ère} Edition Dunod 1991.

JOBERT T. «Tendances et cycles communs à la consommation et au revenu: implications pour le modèle de revenu Permanent». *Economie et prévision* N° 121 (1995) .

JOHANSEN S. & JUSELIUS K. «Maximum likelihood estimation and inference on cointegration with application to the demand for money». *Oxford Bulletin of Economics and Statistics* 52, 69-210 (1990).

LUTKEPOHL H. *Introduction to multiple time series analysis*. Springer-Verlag 1991.

MASIH R., MASIH A. «Energy consumption, real income and temporal causality: results from a multi-country study based on cointegration and error-correction modelling techniques». *Energy Economics*. N° 18 (1996) 165-183.

MASIH R., MASIH A. «Stock-Watson dynamic OLS (DOLS) and error-correction modelling approaches to estimating long- and short-run elasticities in a demand function: new evidence and methodological implications from an application to the demand for coal in mainland China». *Energy Economics*. N° 18 (1996) 315-334.

MAUREL F. «Modèles à correction d'erreur : l'apport de la théorie de la cointégration». *Economie et prévision* N° 88-89 (1989).

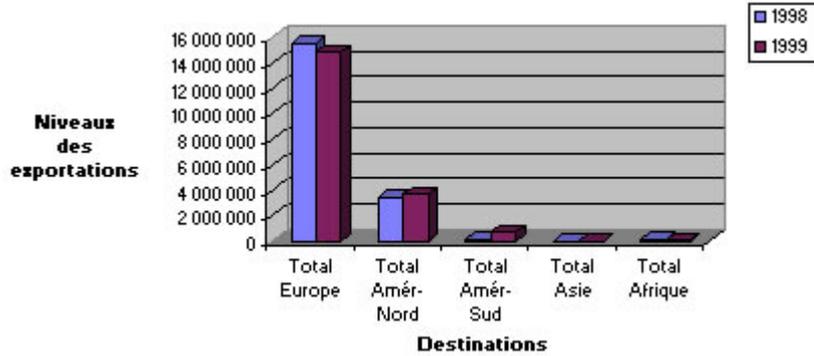
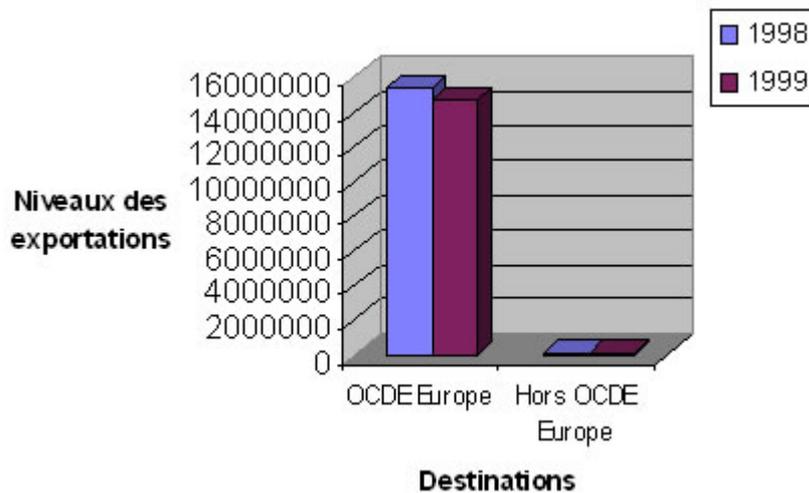
NAGY ELTONY M. «Demand for gasoline in the GCC : an application of pooling and testing procedures». *Energy Economics*. N°18 (1996) 203-209.

RAMANATHAN R. «Short- and long-run elasticities of gasoline demand in India: An empirical analysis using cointegration techniques». *Energy Economics*. N° 21 (1999) 321-330.

REINHARD H. & SCHIPPER L. «Residential energy demand in OECD-countries and the role of irreversible efficiency improvements». *Energy Economics*. N° 20 (1998) 421-442.

THOMAS J., ROTHENBERG J. & STOCK H. «Inference in a nearly integrated autoregressive model with nonnormal innovation». *Journal of econometrics* N° 80

(1997) 269-286.

Annexe - I -**Exportations algériennes de brut vers le Monde (MT)****Annexe - II -****Exportations algériennes de brut vers l'Europe (MT)**

source : Sonatrach 2000

Annexe - III -**LE TEST DF****1. La variable $Cons_t$:**

Le modèle estimé est le suivant :

$$\Delta cons_t = \frac{7.16}{(2910)} - 0.05 \frac{cons_{t-1}}{(0.047)}$$

Les valeurs calculées	Les valeurs théoriques		
	Seuil : 1%	Seuil : 5%	Seuil : 10%
$t_{cste} = 2.46$	3.28	2.56	2.18
$t_{\phi} = -1.09$	-3.54	-2.91	-2.59

la valeur de t de student de la variable retardée $cons_{t-1}$ est supérieure à la valeur théorique à tous les seuils, on accepte l'hypothèse nulle ; $H_0 : r = 1$.

2. la variable $\Delta Cons_t$:

$$\Delta^2 cons_t = \underset{(0.640)}{1.10} - \underset{(0.186)}{0.91} \Delta cons_{t-1}$$

Les valeurs calculées	Les valeurs théoriques		
	Seuil : 1%	Seuil : 5%	Seuil : 10%
$t_{\phi} = -4.87$	-3.55	-2.91	-2.59

La valeur calculée est inférieure à la valeur théorique à tous les seuils, il y a absence de racine unitaire.

la série $\Delta cons_t$ est stationnaire, donc x_t devient stationnaire à la première différenciation autrement dit $cons_t \sim I(1)$.

3. La variable pib_t :

$$\Delta pib_t = \underset{(0.00086)}{0.0057} pib_{t-1}$$

La valeur calculée	Les valeurs théoriques		
	Seuil : 1%	Seuil : 5%	Seuil : 10%
$t_{\phi} = 6.61$	-2.60	-1.94	-1.61

La valeur t_{ϕ} est supérieure aux valeurs théoriques à tous les seuils, on accepte l'existence d'une racine unitaire.

4. La variable Δpib_t :

Nous avons le modèle suivant :

$$\Delta^2 pib_t = \underset{(0.125)}{-0.63} \Delta pib_{t-1}$$

La valeur t_{ϕ} qui est de -5.10 est inférieure aux valeurs théoriques à tous les seuils, on rejette l'hypothèse nulle d'existence d'une racine unitaire.

On conclut que la variable Δpib_t est stationnaire et la variable $pib_t \sim I(1)$.

5. La variable $prix_t$:

Le modèle estimé est le suivant :

$$\Delta prix_t = \underset{(5.81)}{15.75} - \underset{(0.079)}{0.22} prix_{t-1}$$

Aux seuils de 5 % et de 10 %, on accepte l'existence d'une racine unitaire.

6. La variable Δprix_t :

Le modèle estimé est le suivant :

$$\Delta^2 \text{prix}_t = \underset{(0.385)}{-0.08} - \underset{(0.136)}{0.79} \Delta \text{prix}_{t-1}$$

La valeur t_{ϕ} qui est de -5.80 est inférieure aux valeurs théoriques à tous les seuils, il n'y a pas de racine unitaire. Le processus prix_t est stationnaire à la première différenciation, $\text{Prix}_t \sim I(1)$

Les erreurs sont indépendantes pour toutes les variables en niveau (par le test de DurbinH), donc il était inutile de passer au test ADF.

Notes

[*] Attachée de recherche au CREAD.

[1] OPEC Review. Vol XXI. N° 04. Décembre 1997.

[2] En anglais ECM : Error correction models.

[3] Economie et prévision, n° 88-89 (1989).

[4] Ch.Gourieroux, A.Monfort : Séries temporelles et modèles dynamiques. 2^{ème} Edition Economica 1995.

[5] Oxford Bulletin of Economics and Statistics 52, 169-210 (1990)

[6] Voir G.Bresson, A.Pirott : Econométrie des séries temporelles. 1995. - Logiciel utilisé : TSP E-views.

[7] R. Bourbonnais, M.Terraza : Analyse des séries temporelles en économie. 1^{ère} Edition PUF 1998.

[8] Voir Helmut Lutkepohl : Introduction to time series analysis, 1991.